

ESCUELA DE GRADUADOS EN INGENIERIA PORTUARIA

CATEDRA

INGENIERIA DE DRAGADO

PROFESOR TITULAR

ING. RAUL S. ESCALANTE

TEMA 10

DRAGA DE SUCCIÓN POR ARRASTRE

CÁLCULO DE PRODUCCIÓN

Mayo 2007

## 10 CÁLCULO DE PRODUCCIÓN

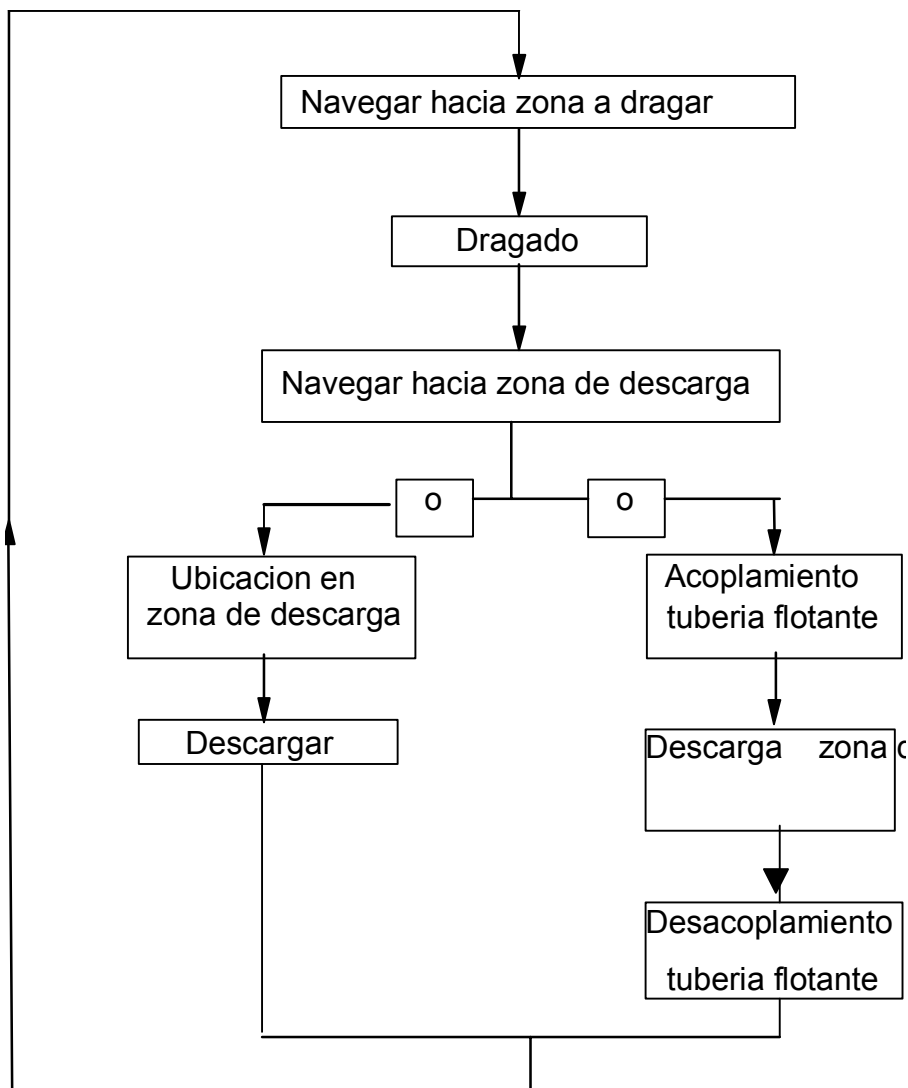
Tenemos diversas situaciones en las que requerimos conocer la cantidad de material dragado mediante una draga de succión por arrastre. Por un lado tenemos la situación cuando se programa un trabajo de dragado en el que se piensa utilizar una draga de succión por arrastre. Debe realizarse una estimación de la producción que se va a obtener con el equipo seleccionado para esa obra. Por otra parte tenemos la situación cuando se está ejecutando la obra y debe realizarse la certificación de la misma. Necesitamos determinar la cantidad de material dragado.

El tema es de fundamental importancia pero no es de fácil solución y es objeto de numerosos estudios. Para su consideración veremos primero el ciclo de dragado y consideraremos luego diversas situaciones y maneras de determinar la producción de una draga de succión por arrastre.

### 10.1 CICLO DE DRAGADO

Los trabajos de dragado con equipos de succión en marcha se pueden considerar como una serie continua de ciclos de dragados sencillos. Cada ciclo de dragado consiste en diferentes fases ejecutadas una atrás de otra. Las diferentes fases a considerar se presentan en la Figura 10.1

Figura 10.1 – Fases del ciclo de dragado



### 10.1.1 Carga de la draga - Etapa de dragado (dredging)

La draga llega a la zona de dragado y antes de comenzar con la tarea de dragado procede a vaciar el agua de lastre de la cántara. Este aspecto se refleja en la Figura 10.2 donde se ve una disminución del desplazamiento justo antes de empezar la fase de dragado.

Se bajan los tubos de succión para que tomen contacto con el fondo mientras la draga continua navegando a una velocidad de 2 a 3 nudos con respecto al fondo. Es muy importante que la velocidad con respecto al suelo sea siempre positiva para evitar que los tubos de succión puedan apoyarse contra el fondo en dirección contraria. En los primeros instantes puede derivarse la mezcla con una concentración menor a la deseada directamente por encima de la borda (ALMOB)

### 10.1.2 Llenado de la cántara.

La cántara se llena con una mezcla de agua y suelo por medio de las bombas de dragado. La capacidad de succión de las bombas se utiliza al máximo para llenar la cántara en el menor tiempo posible. La velocidad de la draga, la presión de los cabezales sobre el fondo, el tipo de cabezal se adecuan al tipo de suelo que se está dragando para obtener la máxima concentración de sólidos. El comportamiento de la mezcla de agua y suelo al entrar en la cántara depende del tipo de suelo que se trate.

El proceso de dragado se controla por medio de un sistema computarizado automático muy sofisticado junto con operadores altamente calificados. El timonel y el operador trabajan en conjunto durante el proceso de dragado. Todos los parámetros importantes tal como la producción, posicionamiento, posición de cabeza, ángulos de los tubos de succión, carga de la cántara, etc, se controlan continuamente por medio de computadoras y sistemas guardando estos datos en discos duros.

#### 10.1.2.1 Materiales granulares

Los materiales granulares, por ejemplo arenas finas, tienden a decantar rápidamente a medida que se va llenando la cántara y se produce una separación de fases donde la parte con mayor concentración de sólidos se deposita en el fondo de la cantara y la parte con mayor contenido de agua queda en la parte superior. En este caso cuando se llena la cantara hasta el nivel del vertedero se continúa dragando de manera que el agua con poco contenido de sólidos salga de la cantara y sea reemplazada por la mezcla con mayor contenido de sólidos. Este proceso se continúa hasta que el hundimiento de la draga por el peso de la carga transportada llegue al valor permitido. Teniendo en cuenta el valor de densidad de diseño de la cantara se suele poner el vertedero en una posición baja para no exceder el peso que puede transportar la draga. En este caso la draga va con el peso máximo (down)

#### 10.1.2.2 Materiales finos

Los materiales finos, por ejemplo limos, tienden a permanecer en suspensión en la cántara por tiempos mas prolongados que los que lleva efectuar el dragado. Por lo tanto, una vez que se llena la draga con la mezcla de agua y sedimento, el material que empieza a salir por el vertedero puede tener una concentración muy similar a la material que está siendo bombeado. Por ello y teniendo en cuenta que el mayor tiempo de bombeo no va a portar mayor tonelaje de carga es que se prefiere terminar el dragado una vez llena la cantara y navegar hasta el sitio de descarga.

En este caso el vertedero se coloca lo mas alto posible. La draga va a navegar con la cantara totalmente llena (full) pero no con la carga máxima

### 10.1.3 Tiempo de giro – Turning

Hay que tener en cuenta que la draga debe girar para volver al sitio de descarga. por lo que es necesario contar con zonas del canal o del área de dragado con ancho suficiente para realizar esta maniobra. El ancho mínimo necesario se reduce cuando la draga está equipada con hélice de proa, característica que es muy habitual en las dragas de succión por arrastre. Los anchos mínimos que necesita la draga son de 4 esloras para el caso de no contar con hélice de proa y 2,5 esloras para los casos que tiene hélice de proa. Debe considerarse que la draga puede estar en lastre o sea con calado reducido al momento de hacer la maniobra.

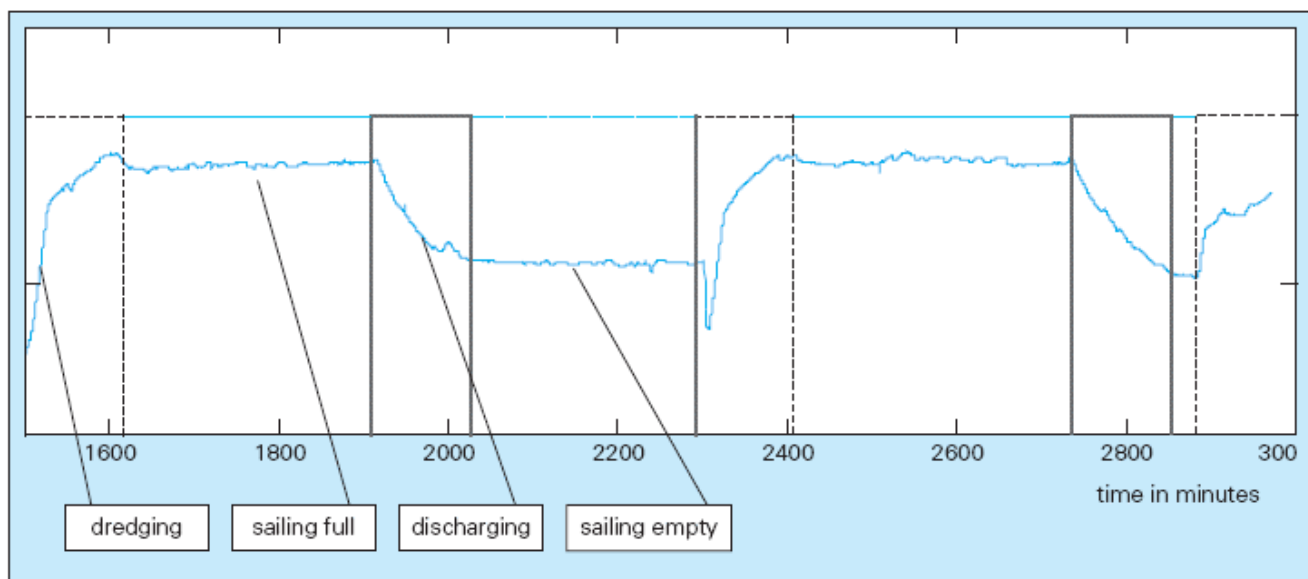
La longitud del área a dragar es otro aspecto importante. Para dragas de succión por arrastre tramos menores a 1.000 m pueden considerarse como restrictivos y tramos inferiores a 250 m exigen modificar el método de dragado para obtener resultados satisfactorios.

Si el tramo a dragar no es suficientemente largo como para que la cántara se llene en un solo recorrido, se debe girar la draga para continuar con el dragado. Lo difícil de la vuelta y el número de veces que haya que dar vuelta aumentan el tiempo no productivo. Por este motivo en la programación de dragado se trata de tener tramos de longitud suficiente.

### 10.1.4 Tiempo de navegación con la draga cargada

El tiempo de navegación con la draga cargada depende de la velocidad de la draga y la distancia a la que se encuentra el sitio de descarga. La primera opinión sería de navegar con la máxima velocidad. Sin embargo, teniendo en cuenta los altos precios del combustible puede ser más económico en el ciclo total navegar a una

*Figura 10. 2 – Ciclo de dragado [Hahlbrock (1998)]*



*Figure 2. Displacement and status signals versus operational time.*

velocidad menor a la máxima pero que optimice la relación precio/tiempo. Con las grandes dragas que se utilizan en la actualidad las distancias a los cuales puede ir la draga a buscar material están aumentando. Puede hablarse de distancias de 50 Km. En la Figura 10.2 puede apreciarse que al finalizar la fase de dragado y comenzar la navegación con la draga cargada se produce una pequeña disminución del desplazamiento. Esto puede ser debido a que se elimine el agua sobrante al comienzo del viaje.

#### 10.1.5 Tiempo de descarga

El tiempo de descarga depende del método que se utilice para la descarga. En el caso de la draga de succión por arrastre hay varias posibilidades

##### 10.1.5.1 Descarga por compuertas de fondo

La descarga mediante compuertas de fondo es muy rápida y puede llevar de 5 a 10 minutos. Puede extenderse un poco mas en el caso en que por problemas de profundidad deba realizarse una pre descarga mediante compuertas de descarga previa.

##### 10.1.5.2 Descarga por tubería

Cuando el objeto del dragado es realizar rellenos de terrenos o de playas la descarga de la draga se efectúa mediante tuberías. Para ello se conecta una tubería flexible, flotante al dispositivo de proa preparado para ello, se vincula esta tubería flotante a otro tramo de tubería rígida, normalmente sumergida y apoyada en el fondo y se bombea el material. Para mayor facilidad de bombeo el material se mezcla con agua mediante chorros en la cántara para hacerlo una mezcla fluida. La operación de anclar la draga, conectar la tubería y realizar el bombeo del material lleva mas tiempo que el de descarga de fondo. Podemos indicar una hora como tiempo típico de bombeo

##### 10.1.5.3 Descarga mediante el chorro de proa

La descarga mediante el chorro de proa es muy utilizada para la realización de rellenos. La draga se acerca al lugar de descarga y lanza hasta unos 100 m de distancia una mezcla fluida de agua y arena. Este método lleva mas tiempo que con la descarga de fondo pero un poco menos que la descarga por tubería

#### 10.1.6 Tiempo de navegación con la draga vacía

La navegación con la draga en lastre depende de la velocidad de la draga y de la distancia al lugar de dragado. La draga lleva una cantidad de agua en la cántara a los fines de navegar en forma estable.

## 10.2 ESTIMACION DE LA PRODUCCIÓN EN LA ETAPA DE PROYECTO

En la etapa de proyecto de una obra de dragado o de oferta en una licitación es necesario realizar estimaciones de la producción que van a tener los equipos propuestos.

Esta estimación es de fundamental importancia pues da como resultado el tiempo de ocupación de los equipos para un volumen determinado o la cantidad de equipos necesarios si hay un plazo pre establecido. En ambos casos es el elemento fundamental que determina el presupuesto de la obra. Por este motivo debe estudiarse con mucho cuidado.

En general se cuenta con todos los datos de proyecto, especialmente los referidos a tipo de suelo a dragar, volúmenes, ubicación geográfica de la obra y la zona de

descarga y todos los detalles técnicos necesarios. En base a esta información se realiza la selección del equipo de dragado a utilizar y en base a la experiencia del Consultor o de la empresa dragadora y rendimientos tipo de los equipos se efectúa el cálculo.

*Tabla 10.1 – Cálculo de producción*

	Distancia	Vel.	Tiempo	Tiempo	Tiempo de	Tiempo	Giros	Tiempo		Tiempo	Ciclo	Draga	Volumen	Produccion
Zona	descarga	Nudos	de Nav.	Desc.	Transporte	de dragado		Trabajado	Demoras	de demoras			efectivo	Mensual
	km		Min	Min	Min	Min	Min	Min	%	Min	Min		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /mes
Zona 1	3,5	6,5	35	10	45	45		90	15%	16	106	M	2800	1.158.300
Zona 2	8,0	6,5	80	10	90	45	5	140	15%	25	165	M	2200	585.000
Zona 3	4,5	6,5	45	10	55	45		100	15%	18	118	P	1600	595.700

En la Tabla 10.1 se muestra un ejemplo para el caso de dragado de mantenimiento de un canal de navegación con zonas de descarga ubicadas a distancias determinadas. El tiempo de navegación indicado corresponde para la navegación ida y vuelta al sitio de descarga. La producción mensual esta determinada calculando el número de ciclos por día que corresponde a cada duración total del ciclo por el total de días del mes.

### 10.3 DETERMINACIÓN DE PRODUCCIÓN EN LA ETAPA DE OBRA

En la etapa de obra la determinación de la producción implica constatar el grado de cumplimiento del Contratista y habilitar el pago de certificados de obra. Por ello es importante que este aspecto esté claramente especificado en el contrato incluido el procedimiento a utilizar.

Existen diversos métodos que pueden aplicarse de acuerdo al tipo de obra en ejecución, el tipo de contrato y las modalidades del caso. Es importante destacar que la determinación del volumen de obra realizado no es un procedimiento exacto y que la aplicación de diversos métodos da diferencias en los resultados que suelen estar dentro de lo esperable por las imprecisiones en la determinación de los factores utilizados en los cálculos.

#### 10.3.1 Comparación de relevamientos batimétricos

La determinación del volumen dragado en un intervalo de tiempo en un determinado lugar mediante comparación de relevamientos batimétricos efectuados uno antes de la ejecución del dragado (relevamiento de predragado) y otro después de finalizado el mismo (relevamiento de post dragado) es un método muy tradicional que presenta una serie de ventajas y desventajas.

Por un lado debe tenerse presente que los relevamientos batimétricos presentan una cierta imprecisión dada por la sumatoria de factores que intervienen para la determinación de la posición exacta de un punto con sus coordenadas x,y,z medidas a partir de una embarcación que flota en un medio acuático que cambia de nivel y con un instrumento (ecosonda) que es objeto de calibraciones diarias. Por

este motivo se acepta que un buen relevamiento presenta un imprecisión del orden de medio pie (15 cm).

Esto implica que cuando el intervalo entre relevamientos es corto o por algún motivo el volumen dragado implica un pequeño incremento de profundidad, la determinación de volúmenes mediante la comparación de relevamientos puede dar resultados bastante alejados de la realidad.

El otro caso que se puede presentar es que se produzca una fuerte sedimentación durante el tiempo que se efectúa el dragado. En este caso la comparación de relevamientos da una valoración de la diferencia entre la situación final menos la inicial pero el volumen adicional que ha sido necesario remover para llegar a la situación final debido a la sedimentación no se refleja en este método.

Hay ocasiones o ubicaciones donde no se puede utilizar la comparación entre relevamientos a los efectos de la certificación:

- en los ingresos marítimos con la presencia de barras muy dinámicas desde el punto de vista sedimentológico.
- en zonas con mucho contenido de barro fluido (fondos lodosos) que afecten el eco de la ecosonda. En barros muy fluidos, pequeños cambios en los seteos de la ecosonda pueden producir grandes cambios en la posición del eco, y por lo tanto en la determinación de la profundidad.

Un aspecto importante es la manera de realizar los cálculos de volumen. Un método muy utilizado es tomar los perfiles transversales y multiplicarlos por la separación entre perfiles. En este caso juega un papel muy importante la separación entre perfiles. Separaciones entre perfiles usuales son cada 200 m, cada 100 m y nunca mas cercanos que perfiles cada 50 m. En este caso se acepta que el fondo es uniforme entre perfiles.

Otra manera técnicamente mas adecuada es aplicar un modelo digital de terreno (DTM) a la situación predragado y postdragado y calcular la diferencia de volúmenes.

Una ventaja que presenta este método para el Comitente es que refleja el estado final de la zona a dragar pero puede no reflejar el trabajo efectivamente realizado

#### 10.3.2 Medición de caudales y concentraciones en las tuberías

La medición de caudales en tuberías es una operación rutinaria. Asimismo se puede determinar las concentraciones. Con estos datos puede calcularse el caudal sólido transportado. Ver Hahlbrock (1998)

#### 10.3.3 Estimación de caudales y concentraciones en los vertederos

Se puede realizarse una estimación del volumen total erogado por los vertederos. Asimismo puede determinarse la concentración del material mediante toma de muestras.

#### 10.3.4 Medición en cántara

La cantidad de arena depositada en el fondo se determina mediante mediciones en distintos puntos de la cántara. Asimismo se determina la concentración del material restante mediante toma de muestras. La producción diaria se obtiene por la suma

del contenido de la cántara en cada ciclo completo multiplicada por el número de ciclos

El método de medición en cántara se denomina también “de media esfera y centrifuga”. Este método consiste en introducir una media esfera en la cántara en lugares predeterminados para determinar el volumen de material que tenga densidad superior a 1.200 kg/m<sup>3</sup>. La media esfera está diseñada para flotar en un material con una densidad del material de 1,200 kg/m<sup>3</sup>. El material adicional que se encuentra por encima de esta interfase se muestrea a media altura de la columna y el porcentaje de sólidos que contiene se determina mediante centrifugación de las muestras.

El inconveniente que presenta este método es que en la actualidad las técnicas de dragado permiten obtener materiales dragados con densidades superiores a 1,200 kg/m<sup>3</sup> y este método no ofrece ningún incentivo al Contratista para conseguir densidades mayores.

### 10.3.5 Método TDS

El método denominado TDS (Tons of Dry Solids) consiste en la determinación de las toneladas de suelo seco dragadas [Rosati (2000)] La primera aplicación del método se realizó en el Puerto de Rotterdam y posteriormente fue adoptado por el Cuerpo de Ingenieros de los EEUU.

Este método es muy útil cuando la comparación de relevamientos hidrográficos no presenta la precisión suficiente para determinar el trabajo realizado por un Contratista como se indicó anteriormente.

La teoría del TDS se basa en el volumen y peso de la cántara. Para calcular el TDS se necesita:

- $\rho_{\text{agua}}$
- $\rho_{\text{suelo seco}}$
- volumen de la cantara
- peso de la cántara (del buque)

Para evaluar la precisión del método TDS debemos determinar la precisión con la que podemos determinar estos factores

La precisión y repetibilidad del TDS debe compararse con la precisión y repetibilidad de otros métodos, tales como la comparación de relevamientos hidrográficos.

Si denominamos P al porcentaje de volumen ocupado por el suelo en la cántara tenemos:

$$P \cdot \rho_{\text{suelo}} + (1 - P) \rho_{\text{agua}} = \rho_{\text{hopper}}$$

$$P = \frac{\rho_{\text{hopper}} - \rho_{\text{agua}}}{\rho_{\text{suelo}} - \rho_{\text{agua}}}$$

$$\text{TDS} = P \cdot \rho_{\text{suelo}} \cdot V$$

Se desarrolla un ejemplo numérico en el parágrafo 10.4

El nivel de instrumentación que presentan los equipos de dragado en la actualidad permiten realizar numerosos controles.

En la referencia citada [Rosati(2000)] se analiza la influencia de la medición y la precisión del método.

El método TDS fue desarrollado por el Ministerio de Obras Públicas de Holanda para el control de los trabajos de dragado de mantenimiento en los canales de navegación del Puerto de Rotterdam. Su desarrollo permitió reemplazar el método de medición en cántara denominado de media esfera y centrífuga que se utilizaba como base de pago a los contratistas.

#### 10.3.6 Medición en sitios de descarga

Cuando se está realizando un relleno lo que puede interesarle al Comitente es el perfil del terreno terminado con determinadas características de compactación. En ese caso el Contratista debe aportar la cantidad de material necesario para cumplir con el perfil de diseño

### 10.4 PAYLOAD

La carga total de suelo transportada se denomina “payload” haciendo una semejanza con la carga útil de los buques. Este cálculo se puede hacer de diferentes formas.

#### 10.4.1 Toneladas de suelo seco (TDS)

Una forma es el calcular el peso de suelo seco TDS (tons of dry solids)

Supongamos

$$\text{volumen de cantara } V_c = 3.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Carga total } P_t = 4.800 \text{ ton}$$

Este peso total se puede obtener por la variación de desplazamiento de la draga

$\rho_{\text{suelo}} = \rho_{\text{arena}} = 2,65 \text{ ton/m}^3$ . Este peso específico corresponde a las partículas del material.

$$\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ ton/m}^3$$

La incógnita a despejar es el volumen de suelo seco ( $V_s$ )

$$\rho_{\text{suelo}} \cdot V_s + \rho_{\text{agua}} \cdot V_a = \text{carga total} = 4.800 \text{ ton}$$

$$2,65 \cdot V_s + 1 \cdot (3.000 - V_s) = 4.800$$

$$V_s (2,65 - 1) = 4.800 - 3.000 = 1.800$$

$$V_s = 1.800 / 1,65 = 1091 \text{ m}^3$$

El peso de ese volumen es

$$V_s \cdot \rho_{\text{suelo}} = 1.091 \cdot 2,65 = 2891 \text{ ton}$$

#### 10.4.2 Volumen de suelo “in situ”

Podemos repetir el cálculo para determinar el equivalente de material in situ. Necesitamos conocer  $\rho_{\text{insitu}} = 2.00 \text{ ton/m}^3$ . Este peso específico corresponde al suelo saturado con todos los espacios vacíos llenos de agua

$$V_{\text{in situ}} = 1.800 \text{ m}^3 ;$$

$$\text{Peso} = 1.800 \cdot 2 = 3.600 \text{ ton}$$

#### 10.4.3 Volumen de suelo en la cántara ya esponjado

El suelo extraído de su lugar sufre un esponjamiento. Para este ejemplo el factor de esponjamiento puede ser 1.25

$$V_s \text{ esponjado} = 1.800 \cdot 1,25 = 2250 \text{ m}^3$$

Este volumen se compone de

1.800 m<sup>3</sup> de peso específico igual a 2,00

450 m<sup>3</sup> de agua adicional con peso específico igual a 1.00

$$1800 \cdot 2.00 = 3.600$$

$$450 \cdot 1 = 450$$

$$\text{Peso total} = 4.050 \text{ ton}$$

#### 10.5 CALCULO DEL TIEMPO ÓPTIMO DE DRAGADO

Optimizar el ciclo de dragado significa realizar la máxima producción en un tiempo determinado. De las fases que componen el ciclo de dragado la única que presenta posibilidades de optimización es la fase específica de dragado. Hay varios enfoques para optimizar esta fase del ciclo. Cerca del final de la fase de dragado la mayor parte del material que ingresa a la cántara la abandona por el vertedero, por lo que permanece en la cántara una mínima parte. La pregunta es si este pequeño incremento de carga justifica el tiempo extra que se necesita para conseguirlo. En otras palabras la pregunta es cuando debe interrumpirse el proceso de dragado y navegar a la zona de descarga.

##### 10.3.1 Procedimiento gráfico

A los efectos de determinar el momento óptimo para interrumpir el dragado es habitual utilizar un procedimiento gráfico que tiene en cuenta el tiempo total del ciclo y la forma que toma la curva que refleja el incremento de carga en la cántara en función del tiempo. En la Figura 10.3 se indica la curva de carga en función del tiempo para un caso determinado. La curva crece en forma lineal hasta que alcanza el nivel de vertedero y a partir de allí se achata a medida que mayor cantidad de material sale por el vertedero. En la curva se indica que llevó 60 minutos ir al sitio de descarga, descargar y volver. Si trazamos una tangente a la curva de carga con origen en tiempo 0 el punto que corresponde a minuto 100 o sea, 40 minutos de carga nos da la carga óptima y el momento en el que debe cesar el bombeo. En este punto la carga de la draga por unidad de tiempo alcanza su máximo. En el ejemplo para el tiempo de bombeo igual a 40 minutos tenemos una carga de 2.500 toneladas. Esto nos da un promedio de 25 toneladas/minuto tomando los 100 minutos de tiempo total del ciclo. En este momento conviene detener el bombeo e iniciar el viaje al sitio de descarga.

Efectivamente si tomamos la carga de material y la dividimos en el tiempo total del ciclo nos da un valor de producción media que es superior a cualquier otro ya fuera tomando un punto anterior de la curva o posterior.

Figura 10.3 - Tiempo óptimo de bombeo

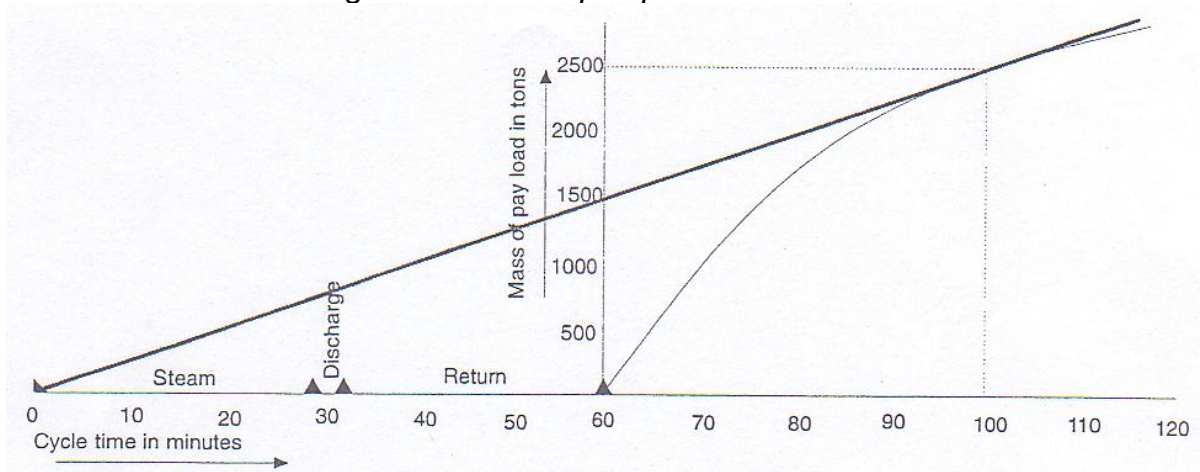
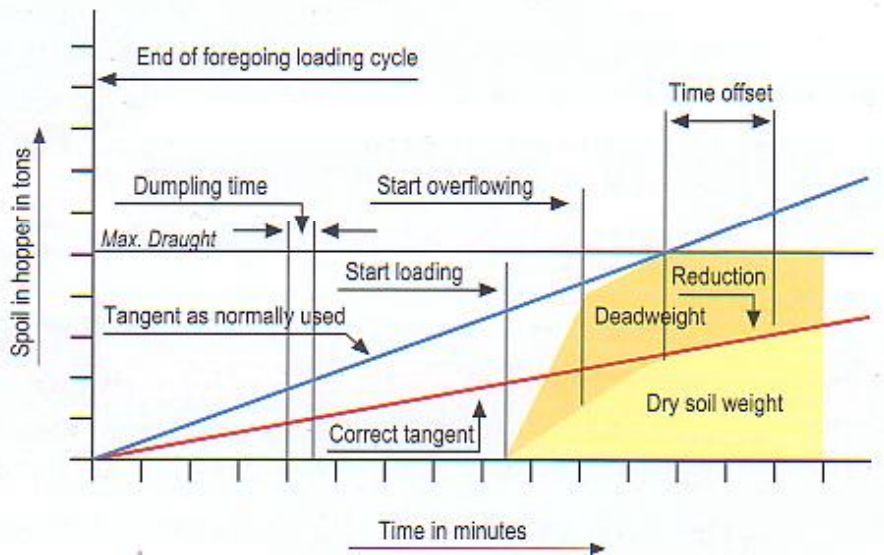


Figure 8.5 The dredging cycle with optimal loading time

Se recomienda que la carga que se expresa en este gráfico corresponda a TDS. En la Figura 10.4. se puede apreciar la diferencia entre aplicar el método a la variación del desplazamiento y aplicarlo a la curva calculada de TDS

Figura 10. 4 – Comparación aplicación método de la tangente a medición de la carga por desplazamiento o TDS

OPTIMAL LOADING ACCORDING DEADWEIGHT OR DRY SOIL WEIGHT  
(WITH DRAUGHT LIMITATIONS)



### 10.3.2 Procedimiento numérico

El Cuerpo de Ingenieros de los EEUU utilizó para determinar el tiempo óptimo de dragado un procedimiento denominado Engineer Form 2590. Este formulario

establece una hoja de cálculo manual basada en el seguimiento del tiempo de bombeo, tiempo total del ciclo y medición de la carga total. La carga total se determina como el volumen de material in situ calculado como el volumen de la cántara multiplicado por una relación constante dada para cada lugar.

En la referencia [Howell (2002)] se da un ejemplo de aplicación de esta planilla de cálculo

Se definen las siguientes variables

$t_p$	tiempo de bombeo
$T_p$	tiempo total de bombeo
$t_t$	tiempo de giro
$T_t$	tiempo total de giro
$T_L$	tiempo total de carga
$T_D$	tiempo total de descarga
$T_{cycle}$	tiempo total del ciclo
$s_p$	velocidad de la draga mientras bombea
$s_d$	velocidad de la draga mientras navega a la zona de descarga
$l_d$	distancia al sitio de descarga
$L$	volumen de la cántara (en yardas cúbicas)

Si se tiene una serie de datos de carga de la cántara y del tiempo total de bombeo se pueden definir dos relaciones que determinan el incremento de carga durante el bombeo

Expresado en forma incremental

$$R_i = \Delta L / \Delta T_p$$

En forma total

$$R_L = L / T_{cycle}$$

Para detener el bombeo correspondería tomar el momento en que  $R_i = R_L$

En la práctica usual la prueba para determinar el tiempo óptimo de bombeo se realiza al iniciar las operaciones en un determinado lugar y se mantiene ese valor mientras se mantienen las condiciones. En la Tabla 10.2 se muestra el Formulario 2590 en su versión original



### 10.3.3 Procedimiento computacional

Tal como se describe mas adelante en la actualidad se cuenta con elementos que permiten conocer todos los factores de operación de los equipos de dragado. Howell (2002) propone utilizar instrumental de medición en las dragas y transmisión de los datos a la oficina de control de manera de poder seguir todas las operaciones de la draga en tiempo real. Sobre la base de un esquema numérico determina el tiempo óptimo de dragado

Se discute cual es el tiempo óptimo de bombeo adicional una vez que se ha llenado la cántara. La discusión es si conviene seguir bombeando o parar el bombeo e ir lo más rápido posible al sitio de descarga. Propone un método automático basado en las mediciones que se efectúan en el buque. Una conclusión es que el tiempo óptimo de dragado está vinculado con la distancia a la que se encuentra el sitio de descarga. Si el sitio está lejos, conviene seguir bombeando para aumentar la carga. Si el sitio está cerca, conviene parar el dragado y navegar al sitio de descarga. . Los resultados obtenidos por Howell muestran que para sitios de descarga cercanos se pueden obtener disminución del orden del 30% en el ciclo total con reducciones del orden del 10 % en la carga de la draga. En su esencia el método propuesto por Howell es muy similar al método numérico con la diferencia que permite ir teniendo en cuenta viaje a viaje las variaciones que se producen en los diversos componentes del ciclo de dragado.

### 10.3.3 Inspector Silencioso (SI)

El sistema de monitoreo de dragado denominado Inspector Silencioso (Silent Inspector – SI) desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los EEUU.[Rosati (2001)] mide la posición de la draga y su desempeño en tiempo real. El SI tiene la posibilidad de calcular los tiempos de bombeo, navegación y descarga junto con la carga de la cántara determinada en toneladas de suelo seco (TDS). El método utiliza TDS en lugar de volumen de suelo in situ. El método es muy similar al utilizado por el Ministerio de Obras Públicas de Holanda.

El SI determina, presenta y registra la cantidad de TDS a bordo de la draga de succión por arrastre en forma continua por cada ciclo de dragado. La información que se obtiene comprende tres elementos: los datos del ciclo de dragado incluyendo demoras, la carga de la cantara por cada ciclo de dragado y el posicionamiento de la draga en tiempo real

El SI recolecta la información a partir de sensores instalados en el buque, calcula las actividades de dragado y muestra la información mediante informes con formato standard y representación gráfica. Además de calcular en forma automática la carga de la draga en TDS recolecta la información acerca de la posición del cabezal de dragado en tres dimensiones y las coordenadas de los sitios de dragado, navegación y descarga. Estos factores son necesarios para el pago de los trabajos al Contratista y para verificar que las tareas de dragado y de descarga se realizan en los lugares especificados en el contrato.

En la Figura 10.5 se presenta una imagen de la pantalla de la computadora en el Cuerpo de Ingenieros del Inspector Silencioso (SI) donde se aprecian los diferentes factores que se conocen en tiempo cuasi real

Figura 10. 5 – Pantalla Silent Inspector



El SI se ha adoptado como método obligatorio para todas las embarcaciones que realicen tareas de dragado en los EEUU ya sean propias del Cuerpo de Ingenieros o de contratistas a partir de año 2007. Todas las embarcaciones implica a las dragas de succión por arrastre, las dragas de cortador, las dragas de cangilones y a las chatas barreras. Para poder cumplir con este requerimiento hay un cronograma bastante ajustado para los próximos años. Además de utilizarlo para controlar las cantidades dragadas se utiliza también para controlar que el dragado se efectúe en los lugares previstos y que la descarga se haga en los lugares autorizados. Toda la información que se obtiene por este método se almacena en una base de datos central. Ya han aparecido otros organismos interesados en tener acceso a esta información, principalmente organismos vinculados con temas ambientales, protección de habitats y otros.

Seguramente la difusión de nuevas tecnologías que permiten un mejor seguimiento de las embarcaciones como los Sistemas de Identificación Automática (AIS) van a producir mejoras en el corto plazo en el SI

- 10.4 BIBLIOGRAFIA
- 10.4.1 Howell. G, (2002) "Real time computation of economic loads for hopper dredges" Dredging 2002, ASCE
- 10.4.2 Ports and Dredging (2001) "Optimal loading of TSHDs"
- 10.4.3 Hahlbrock, U. and Freese, I. (1998) "Hopper Load Measurement; Some Recent Experiences with a Remote-Operated Data Acquisition and Analyzing System" Terra et Aqua – Number 72 – September 1998
- 10.4.4 Rosati, J (2001) "Silent Inspector Implementation Procedures for Hopper and Pipeline Dredges" USACE ERDC TN-DOER-I6 March 2001
- 10.4.5 Rosati, J (2000), "Initial Corps Experience with Tons Dry Solids (TDS) Measurement" USACE ERDC TN-DOER-I2 July 2000
- 10.4.6 Bray, R.N. Bray, R.N., Bates, A.D, and Land, J.M., (1997) "Dredging, a handbook for engineers", Second edition, John Wiley and Sons pp336-338